

K. Kaluđer Kamčev, Lj. Bjelanović, M. Ištuk, F. Martinis, I. Šepić, A. Petrović

ISSN 0350-350X

GOMABN 41, 6, 383-403

Stručni rad/Professional paper

UDK 65.012.12 : 665.73/.75 : 381/382.6 : 380.113

PRIMJENA RAFINERIJSKIH LP MODELA - OPTIMIRANJE IZVOZA PROIZVODA NA SLOBODNO TRŽIŠTE

Sažetak

LP modeli za optimiranje prerade nafte i transporta imaju široku primjenu na područjima operativnog planiranja prerade, planiranja razvoja i u svim procesima donošenja odluka vezanih uz djelatost nabave sirovina, preradu, kvalitetu, količine i cijene proizvoda i sirovina te njihove distribuciju, plasman i organizaciju prodajne mreže. Rezultati optimiranja rafinerijskih LP modela predstavljaju korisnu pomoć prilikom procjena isplativosti i donošenja odluka vezanih za unapređenje rafinerijske marže jer omogućuju optimiranje proizvodnje prema zahtjevima tržišta uz respektiranje tehnoloških resursa, s ciljem postizanja maksimalne rafinerijske marže i minimalnih troškova.

Cilj rada je prikaz mogućnosti LP modela kao alata u uvjetima zadovoljavanja proizvodnje fiksne količine produkata, koja se u praksi može odnositi na potražnju na domaćem i/ili ugovorenom izvoznom tržištu, a optimirana je dodatna proizvodnja za plasman na drugim tržištima.

Navedeni pristup optimiranju proizvodnje proveden je na primjeru optimiranja rada RN Rijeka i strukturi cijena mediteranskog tržišta.

Uvod

Općenito, optimiranjem se postiže nalaženje najboljeg puta do zadanog cilja uz istovremeno poštivanje uvjeta i ograničenja. Linearni (i nelinearni) programi za optimiranje mogu se primjenjivati u bilo kojem procesu kod kojega se dvije ili više aktivnosti natječu za ograničene resurse u svrhu ostvarenja maksimizacije funkcije cilja. Najčešće se funkcija cilja odnosi na maksimizaciju profita u uvjetima postavljenih ograničenja.

U rafinerijskim LP modelima rafinerijski procesi i operacije su predstavljeni sustavom linearnih jednadžbi (nejednadžbi) koje predstavljaju masene bilance, prinose procesnih jedinica, kvalitetu sirovina, međuprodukata i produkata, cijene i dr. Rješenja navedenog sustava jednadžbi moraju zadovoljavati ograničenja (tržište, kapaciteti, kvaliteta produkata i dr.) uz istovremeno maksimiziranje funkcije cilja (rafinerijska marža). Rafinerijski LP modeli omogućuju optimiranje rafinerijskih procesa i operacija, a rezultat optimiranja je maksimalna dobit koju je moguće ostvariti u okvirima zadanih ograničenja (cijene, količine, kapaciteti, specifikacije i dr.) tijekom zadanog vremenskog razdoblja (dnevno, mjesečno, itd.).

Za svaki kreirani slučaj, definiran odgovarajućim skupom ograničenja, optimiranjem je moguće dobiti rezultate koji su predstavljeni optimalnim kombinacijama:

- vrsta i količina sirovina i proizvoda,
 - razina prerade svih procesnih jedinica,
 - režim i oštrina rada svih procesnih jedinica,
 - kvaliteta svih tokova,
 - receptura namješavanja produkata i dr.
- Osim navedenih podataka, rezultati optimiranja omogućuju i stjecanje uvida u strukturu pokretačkih sila i ograničenja procesa optimiranja preko marginalnih vrijednosti (marginal values) za sva ograničenja i varijable u modelu. Općenito, marginalne vrijednosti u rezultatima optimiranja omogućuju procjenu utjecaja ograničenja i varijabli na vrijednost rafinerijske marže, odnosno daju sliku strukture ekonomskih vrijednosti svih aktivnosti i ograničenja.

Metoda rada

Optimiranje proizvodnje dodatnih količina proizvoda za plasman na drugim tržištima* u uvjetima zadovoljavanja fiksne količine proizvoda provedeno je pomoću LP modela RN Rijeka. Fiksna količina produkata proizvoljno je određena i konstantna je u svim slučajevima optimiranja, a predstavlja osnovno ograničenje optimiranju na temelju kojeg su razmatrane sve opcije dodatne proizvodnje. Uvjeti optimiranja su postavljeni tako da omogućuju dobivanje maksimalnih i minimalnih efekta povećanja marže proizvodnjom proizvoda za slobodno tržište:

Varijanta 1

Postavljanje uvjeta optimiranja tako da omogućuje dodatnu proizvodnju svih proizvoda, odnosno uz otvorene mogućnosti proizvodnje svih gradacija proizvoda iznad fiksnih količina potražnje. Rezultati optimiranja su uvjetovani strukturom cijena

*Termini "slobodno tržište", "druga tržišta" i sl., koji se odnose na proizvode koji su iznad definiranih fiksnih količina potražnje, ne označavaju fizički mjesto njihova plasmana, nego se odnose na cijene tih proizvoda koje odgovaraju cijenama na međunarodnom tržištu naftnih derivata. U ovom radu su za te proizvode primijenjene cijene FOB Med. Cijene proizvoda fiksne potražnje definirane su s obzirom na tržište koje ih potražuje (domaće i/ili ugovoreno izvozno tržište).

i tehnološkim mogućnostima rafinerije. Ova varijanta predstavlja optimiranje s najvećim stupnjem slobode u datim ograničenjima proizvodnje fiksnih količina proizvoda te u zadanim uvjetima omogućuje postizanje maksimalne vrijednosti rafinerijske marže.

Varijanta 2

Optimiranje proizvodnje pojedinačnih proizvoda za slobodan izvoz - postavljena ograničenja uvjetuju proizvodnju pojedinačnih produkta iznad fiksne potražnje. Opcije varijante 2 predstavljaju granične slučajeve minimalnih sloboda optimiranja, čijim se optimiranjem dobivaju rezultati s minimalnim vrijednostima rafinerijskih marži.

Rezultati optimiranja opisanih varijanti, u ovisnosti o postavljenim mogućnostima izvoza proizvoda na slobodno tržište, omogućuju procjenu granica područja mogućeg porasta rafinerijske marže uz respektiranje fiksnih količina potražnje proizvoda.

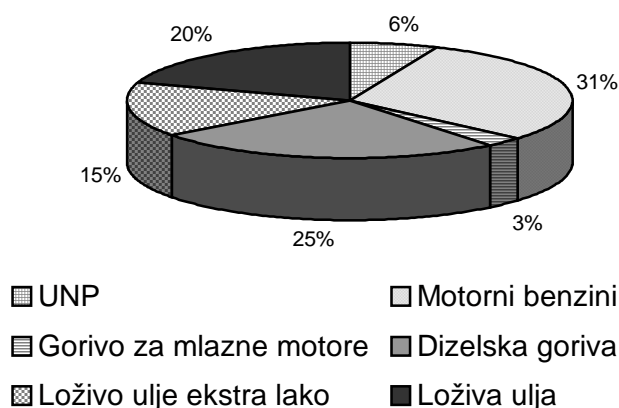
Ulazni podaci

1. Odabir nafte je ograničen izborom nafte prikazanih u tablici 1, a maksimalni udio nafte s nižim sadržajem sumpora ograničen do 30 mas%.
2. Postavljena ograničenja kapaciteta svih preradbenih jedinica omogućuju optimiranje u granicama između minimalnih i maksimalnih kapaciteta pa je sukladno navedenom i ukupna količina sirove nafte određena granicama minimalnog i maksimalnog kapaciteta atmosfarske destilacije.
3. Optimiranje je provedeno za strukturu prosječnih cijena u razdoblju I.-V. mjeseca 2001. godine, odnosno svi proizvodi i sirovine imaju prosječne cijene za navedeno razdoblje. Cijene proizvoda iz fiksne potražnje odgovaraju prosjeku cijena za tržišta kojima su namijenjeni, a cijene proizvoda za slobodno tržište odgovaraju prosječnim cijenama FOB Med za isto razdoblje.
4. Količina proizvoda fiksne potražnje. Struktura fiksne količine proizvoda prikazana je na slici 1. Količine i vrste proizvoda fiksne potražnje proizvoljno su određene na osnovi prosječne potražnje u razdoblju I.-V. mjeseca 2001. godine.
5. Kvaliteta proizvoda iz fiksne potražnje odgovarajuća je zahtjevima kvalitete tržišta kojima su namijenjeni, a kvaliteta dodatnih proizvoda za slobodno tržište odgovara zahtjevima kvalitete europskih normi.

Tablica 1. Stupnjevi API i maseni udjeli sumpora u odabranim naftama

Karakteristike	Nafta	
	REB	Syrian Lt.
°API	32.7	37
Sumpor, mas%	1.49	0.73

Slika 1: Struktura postavljene fiksne količine proizvoda



Postupak optimiranja - varijante

Postupak optimiranja proizvodnje dodatnih proizvoda iznad fiksne količine potražnje proveden je sljedećim opcijama opisanih varijanti 1 i 2:

1. Opcije varijante 1

1A - optimiranje dodatne proizvodnje svih proizvoda

1B - optimiranje dodatne proizvodnje svih proizvoda, osim motornog benzina MB 98 (0.15 g/l olova)

Optimiranje prve varijante uključuje i opciju optimiranja proizvodnje svih proizvoda, osim motornog benzina MB 98 (0.15 g/l olova). Razlog tome su rezultati optimiranja varijante 1A, prema kojima odnos cijene i troškova proizvodnje u grupi proizvoda motorni benzini vodi proces optimiranja prema ekonomski povoljnijoj proizvodnji motornog benzina MB 98 (0.15 g/l olova), bez proizvodnje motornog benzina BMB 95. Budući da je motorni benzin MB 98 proizvod čije su potrebe na tržištu ograničene, optimirana je i dodatna opcija varijante 1 - opcija 1B.

2. Opcije varijante 2

Optimiranje proizvodnje pojedinačnih proizvoda iznad fiksnih količina potražnje ne omogućuje optimalno balansiranje tokova pa varijante 2 uključuju opcije dodatne proizvodnje i drugih proizvoda, ali u minimalnim količinama koje osiguravaju balansiranje tokova:

- 2A - Optimiranje proizvodnje motornog benzina BMB 95 i minimalne količine dodatne proizvodnje loživog ulja LUS II koja osigurava optimalno balansiranje tokova
- 2B - Optimiranje proizvodnje dizelskog goriva i dodatne proizvodnje sljedećih proizvoda u minimalnim količinama koje osiguravaju optimalno balansiranje tokova:
 - 2Ba - loživog ulja LUS II i motornog benzina BMB 95 (EN 228:1999)
 - 2Bb - loživog ulja LUS II i FCC benzina
- 2C - Optimiranje proizvodnje loživog ulja LUS II i minimalnih količina dodatne proizvodnje sljedećih proizvoda:
 - 2Ca - motornog benzina BMB 95
 - 2Cb - FCC benzina
 - 2Cc - baznog benzina

Rezultati optimiranja

Definiranjem uvjeta optimiranja opcijama varijante 1, omogućeno je optimiranje proizvodnje dodatnih proizvoda za slobodno tržište izborom vrste i količine proizvoda, odnosno rezultati optimiranja opcija varijante 1 predstavljaju optimalnu proizvodnju proizvoda koji u najvećoj mjeri doprinose povećanju rafinerijske marže u uvjetima zadovoljavanja fiksnih potreba. Opcije varijante 1 predstavljaju opcije maksimalnih vrijednosti rafinerijskih marži u zadanim uvjetima fiksnih potreba i strukture cijena proizvoda i sirovina.

Definirani uvjeti optimiranja opcijama varijante 2 predstavljaju nametnuti izbor proizvodnje pojedinačnih proizvoda za dodatna tržišta. Općenito, opcije varijante 2 predstavljaju minimalne efekte povećanja rafinerijske marže dodatnom proizvodnjom, čiji iznos varira za različite opcije odabira proizvoda.

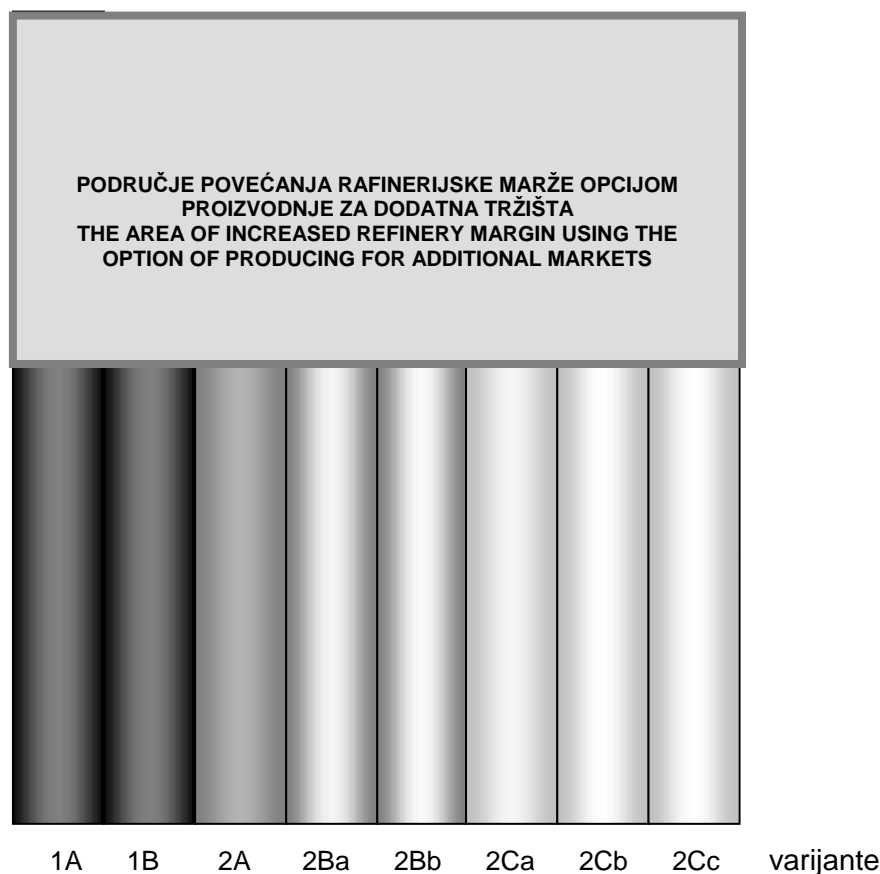
Postavljanjem dobivenih graničnih vrijednosti minimalnih i maksimalnih vrijednosti rafinerijskih marži kao funkciju porasta rafinerijske marže u ovisnosti o ograničenjima opcija varijanti 1 i 2, moguće je procijeniti čitavo područje mogućnosti unapređenja rafinerijske marže proizvodnjom za dodatna tržišta, kao što je prikazano na slici 2.

Opcije varijante 1 prikazuju maksimalne vrijednosti rafinerijskih marži za optimiranu strukturu cijena i fiksnih količina proizvoda, a vrijednosti marži ovise o izboru opcije dodatne proizvodnje - sa ili bez proizvodnje motornog benzina MB 98 (0,15 g/l olova). Za zadanu strukturu cijena, fiksne količine proizvoda i ostalih ulaznih ograničenja nije moguće ostvariti veću vrijednost rafinerijske marže opcijom dodatne proizvodnje. Ostale vrijednosti rafinerijskih marži odgovaraju različitim opcijama proizvodnje pojedinačnih proizvoda za dodatna tržišta, uz otvorene mogućnosti proizvodnje i minimalnih količina drugih produkata definiranih za svaku opciju, koji omogućuju optimalno balansiranje tokova. Ovisno o odabiru pojedinačnog produkta, optimiranje opcija varijante 2 rezultira minimalnim efektima povećanja marže proizvodnjom za dodatna tržišta.

Slika 2: Rezultati optimiranja - odnosi rafinerijskih marži varijanti dodatne proizvodnje u uvjetima proizvodnje iste fiksne količine proizvoda

Figure 2: Results of optimisation- relations of refinery margins of additional production variants under conditions of producing the same fixed volume of products

Raf. marža,\$/t



Za datu strukturu cijena i ograničenja fiksnih količina potražnje, varijanta 2Cc određuje minimalni efekt povećanja rafinerijske marže opcijom proizvodnje iznad fiksne količine potražnje. Ako se najniža vrijednost rafinerijske marže postavi za minimum, a najviša za maksimum, tada se cijelo područje između minimuma i maksimuma može označiti kao "područje mogućnosti povećanja rafinerijske marže"

opcijom proizvodnje dodatnih količina proizvoda" u zadanim uvjetima optimiranja i strukture fiksne količine produkata.

Područje povećanja rafinerijske marže sadržava sve vrijednosti mogućih rafinerijskih marži koje se mogu ostvariti opcijom proizvodnje proizvoda za dodatna tržišta. Naime, sve vrijednosti rafinerijskih marži predstavljene stupcima od drugog nadalje (slika 2) moguće je povećati samo do vrijednosti rafinerijske marže prikazane prvim stupcem. Način na koji se ostale vrijednosti rafinerijskih marži mogu povećati je postavljanje uvjeta optimiranja tako da omogućuju proizvodnju još više produkata za dodatna tržišta i to sve do krajnosti koja omogućuje optimalan odabir između svih produkata, a to je vrijednost maksimalne rafinerijske marže.

Pridruživanjem odgovarajućih randmana proizvoda svakoj vrijednosti prikazanih rafinerijskih marži, moguće je procijeniti količinu i vrstu proizvoda za dodatna tržišta čijom se proizvodnjom iznad fiksnih količina potražnje ostvaruju vrijednosti rafinerijskih marži unutar "područja mogućnosti povećanja rafinerijske marže opcijom proizvodnje dodatnih količina proizvoda".

Svaka vrijednost rafinerijske marže prikazana na slici 2 rezultat je optimiranja navedenih opcija varijanti 1 i 2, a ostvaruje se optimiranjem proizvodnje odgovarajućih randmana proizvoda, prikazanih na slici 3, gdje su udjeli proizvoda za dodatna tržišta u ukupnoj količini proizvoda označeni podebljano.

Rafinerijske marže dobivene optimiranjem varijanti dodatne proizvodnje pojedinačnih proizvoda mogu se povećavati do vrijednosti maksimalne rafinerijske marže postavljanjem uvjeta optimiranja tako da se otvore mogućnosti proizvodnje i drugih proizvoda. Optimiranje varijanti 2 uz dodatnu proizvodnju i drugih proizvoda, rezultirat će drukčijim randmanima proizvoda od prikazanih na slici 3, s drukčijim udjelima dodatnih proizvoda. Rezultirajuća rafinerijska marža bit će viša od polazne i nalazit će se unutar označenog "područja mogućnosti povećanja rafinerijske marže opcijom proizvodnje dodatnih količina proizvoda". Postupnim smanjenjem ograničenja na izbor vrste i količine proizvoda za dodatna tržišta polaznih varijanti, dobivat će se rezultati optimiranja sljedećih karakteristika:

- ostvarene rafinerijske marže približavat će se vrijednostima maksimalnih rafinerijskih marži,
- randman proizvoda bit će sve sličniji, odnosno težit će postizanju randmana proizvoda s maksimalnom rafinerijskom maržom.

Krajnja posljedica povećanja slobode izbora dodatnih proizvoda bit će rezultati optimiranja koji odgovaraju proizvodnji randmana proizvoda kojim će se postizati maksimalna rafinerijska marža. Način promjene randmana proizvoda od polaznih varijanti proizvodnje pojedinačnih proizvoda do randmana proizvoda varijanti s najvišim maržama će se međusobno razlikovati, ali će svakoj rezultirajućoj promjeni randmana koja se odnosi na optimiranje mogućnosti dodatne proizvodnje i drugih proizvoda odgovarati vrijednost rafinerijske marže koja se nalazi u označenom "području mogućnosti povećanja rafinerijske marže opcijom proizvodnje dodatnih količina proizvoda" i koja je viša od vrijednosti rafinerijske marže dobivene optimiranjem polazne opcije dodatne proizvodnje pojedinačnog produkta.

Slika 3: Rezultati optimiranja svih opcija varijanti 1 i 2 - strukture proizvoda

* udjeli proizvoda za dodatna tržišta u ukupnoj količini proizvoda označeni su podebljano

Kako su na slici 3 prikazani ranmani proizvoda čijom se proizvodnjom omogućuju minimalni i maksimalni efekti povećanja rafinerijske marže opcijom dodatne proizvodnje iznad fiksnih količina potražnje, tako su i prikazani udjeli proizvoda za dodatna tržišta granični udjeli za cijeli raspon mogućih udjela u ukupnom randmanu proizvoda čijom se proizvodnjom ostvaruju rafinerijske marže unutar označenog "područja mogućnosti povećanja rafinerijske marže opcijom proizvodnje dodatnih količina proizvoda". Svaka opcija optimiranja proizvodnje za dodatna tržišta omogućavat će efekt povećanja marže ako se u ukupnom randmanu proizvoda nalazi u rasponima udjela koji odgovaraju povećanju rafinerijske marže od minimalnih do maksimalnih efekata. Konkretno, za optimirani sustav cijena, ograničenja fiksne potražnje i drugih ograničenja karakterističnih za ovaj rad (izbor nafti, ograničenja kapaciteta i režima rada procesnih jedinica i dr.), mogućnosti povećanja rafinerijske marže proizvodnjom za dodatna tržišta odgovaraju proizvodnji navedenih proizvoda u rasponima sljedećih udjela u ukupnoj količini proizvoda:

- 0 - 16 mas% motornog benzina BMB 95 (13 mas%)
- 0 - 7 mas% dizelskog goriva (1 mas%)
- 4 - 22 mas% loživog ulja LUS II (6 mas%)
- 0 -13 mas% FCC benzina (0 mas%)
- 0 - 4 mas% baznog benzina (0 mas%)
- + UNP (4 mas%)

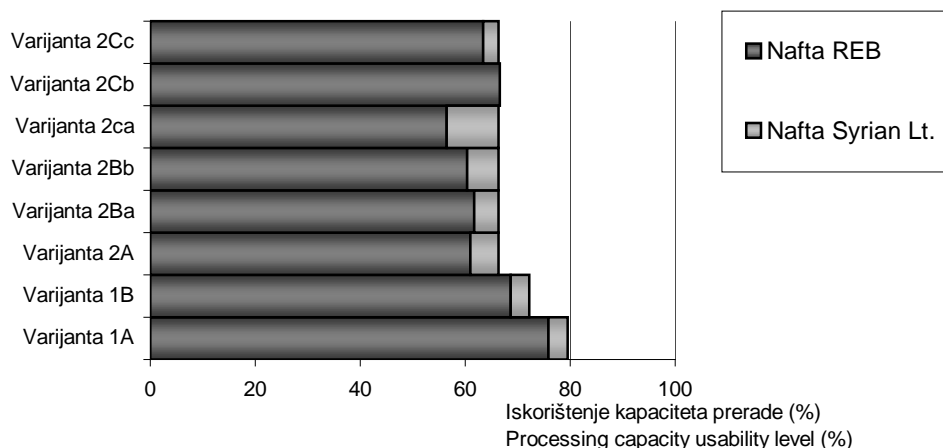
U zagradama su prikazani udjeli proizvoda za dodatna tržišta u ukupnom randmanu dobiveni optimiranjem varijante 1B, odnosno optimalnog odabira količina i vrsta proizvoda za dodatna tržišta. Proizvodnja loživog ulja ekstra lakog i goriva za mlazne motore za dodatna tržišta u zadanom sustavu ograničenja i cijena ne doprinosi povećanju rafinerijske marže, a proizvodnja motornog benzina MB 98 (0,15 g/l olova) je ekonomski najpovoljnija, ali njegova pojedinačna proizvodnja nije razmatrana. Sličan pristup analize rezultata optimiranja može se primijeniti za procjenu granica iskorištenosti kapaciteta te udjela pojedinačnih nafti u ukupnoj preradi. Naime, za svaku optimiranu opciju varijanti 1 i 2 dobivaju se rezultati u kojima svaka vrijednost rafinerijske marže s pripadajućim randmanom proizvoda odgovara prikazanom rasponu iskorištenosti kapaciteta (slika 4). Svaka vrijednost rafinerijske marže (slika 2) postignuta je optimiranjem opcija varijanti 1 i 2 te odgovara proizvodnji pripadajućih randmana proizvoda (slika 3), pri čemu je ostvarena prikazana iskorištenost kapaciteta prikazana na slici 4.

Sve varijante proizvodnje za dodatna tržišta, čijim se optimiranjem dobivaju vrijednosti rafinerijskih marži unutar "područja mogućnosti povećanja rafinerijske marže opcijom proizvodnje za dodatna tržišta", odgovaraju vrijednostima od 66 do 80% iskorištenosti kapaciteta prerade. Kako je na slici 4 prikazana iskorištenost kapaciteta dobivena optimiranjem graničnih varijanti (minimalni i maksimalni efekti povećanja rafinerijske marže opcijom dodatne proizvodnje iznad fiksne potražnje), tako i prikazane iskorištenosti kapaciteta odgovaraju graničnim vrijednostima iskorištenja, a optimiranjem opcija dodatne proizvodnje i drugih proizvoda koje rezultiraju bilo kojom vrijednošću rafinerijske marže unutar "područja mogućnosti

povećanja rafinerijske marže opcijom proizvodnje za dodatna tržišta” (slika 2), imat će rezultirajuću iskorištenost kapaciteta između 66 i 80%.

Slika 4: Iskorištenosti kapaciteta i udjeli odabranih nafti u ukupnoj količini prerađene nafte svih opcija varijanti 1 i 2

Figure 4: Capacity usability and shares of selected crudes in total processed oil volumes of all options of variants 1 i 2



Zaključna razmatranja

Cilj ovog rada bio je prikaz mogućnosti primjene LP modela u rješavanju problema zadovoljavanja fiksne količine produkata, koja se u praksi može odnositi na potražnju na domaćem i/ili ugovorenom izvoznom tržištu, a optimirana je dodatna proizvodnja za plasman na drugim tržištima. Definirana je fiksna količina proizvoda koja je konstantna u svakom slučaju optimiranja te je postavljena sa striktnim ograničenjima količina svakog proizvoda koja mora biti proizvedena. Opisana metoda rada omogućuje dobivanje rezultata optimiranja za dva osnovna scenarija dodatne proizvodnje:

Varijanta 1. - neograničena proizvodnja dodatnih količina proizvoda za druga tržišta
 Varijanta 2. - proizvodnja dodatnih količina proizvoda za druga tržišta ograničena vrstom proizvoda.

Uvjeti optimiranja definirani varijantama 1 i 2 omogućuju dobivanje rezultata optimiranja čijom se usporedbom može zaključiti:

- Postavljanje fiksne količine proizvoda ograničava stupnjeve slobode optimiranja u svim opcijama varijanti 1 i 2.

- Optimiranjem varijante 1 dobivaju se rezultati s maksimalnim efektima, a optimiranjem varijanti 2 rezultati s minimalnim efektima povećanje marže dodatnom proizvodnje proizvoda iznad definiranih količina potražnje.
- Vrijednosti rafinerijskih marži varijanti 1 i 2 ograničavaju "područje mogućnosti povećanja rafinerijske marže" proizvodnjom proizvoda iznad definiranih količina potražnje.
- "Područje mogućnosti povećanja rafinerijske marže" predstavlja područje u kojem se nalaze vrijednosti rafinerijskih marži dobivene optimiranjem i svih ostalih slučajeva, odnosno opcija optimiranja proizvodnje različitih kombinacija proizvoda za dodatna tržišta.
- Optimiranje varijanti 1 i 2 omogućuje i procjenu granica iskorištenosti kapaciteta te optimalan odabir količina i vrsta nafte za sve opcije proizvodnje proizvoda za dodatna tržišta.

Svi rezultati optimiranja u ovom radu jedinstveni su se za dati slučaj: strukture fiksne potražnje, odnosa cijena sirovina i produkata te ostala ograničenja. Međutim, metoda rada i postupak analize rezultata primjenjivi su za sve slučajeve ispitivanja mogućnosti povećanja rafinerijske marže proizvodnjom proizvoda za dodatna tržišta.

APPLICATION OF REFINERY LP MODELS – OPTIMIZING PRODUCT EXPORT TO THE FREE MARKET

Abstract

LP models for optimizing oil processing and transportation have a wide application in the area of operative processing planning, development planning, and in all processes of decision making associated with feed supply, processing, quality, volumes and prices of products and feeds, and their distribution, marketing, and sales network organization. Results of optimizing refinery LP models present a useful assistance while estimating cost effectiveness and making decisions regarding the advancement of refinery margin, enabling the optimization of production according to market requirements, while respecting technological resources, for the purpose of achieving maximum refinery margin and minimal costs.

The purpose of the paper is to present the possibilities of LP model as tools under conditions of meeting the production of a fixed volume of products, which, in practice, may refer to the demand on the local and/or fixed export market, while optimising additional production for placing on other markets.

The said approach to production optimization has been implemented on the example of optimizing the operation of Rijeka Oil Refinery and the price structure of the Mediterranean market.

Introduction

Generally speaking, optimisation is the finding of the best way to a set goal while respecting conditions and limitations in the process. Linear and non-linear programs for optimisation may be applied in any process where two or more activities are competing for limited resources for the purpose of maximizing the goal function. The goal function most frequently refers to profit maximization under conditions of set limitations.

In refinery LP models, refinery processes and operations are presented through a system of linear equations (non-equations) presenting mass balances, process units yields, quality of feed, intermediary products and products, prices, etc. The solutions of the said equation system must meet the limitations (market, capacities, quality of products, etc.), while at the same time maximizing the goal function (refinery margin). Refinery LP models enable optimisation of refinery processes and operations, while the result of optimisation is the maximum profit that may be achieved within the limitations set (prices, volumes, capacities, specifications, etc.) during a given period of time (daily, monthly, etc.).

For each created case, defined by a given group of limitations, optimisation may provide results presented by optimal combinations:

- type and volume of feeds and products,
- processing level of all processing units,
- regime and severity of work of all processing units,
- quality of all flows,
- recipes for product blending, etc.

Apart from the said data, results of optimisation also enable an insight into the structure of driving forces and limitations of the optimisation process through marginal values for all limitations and variables in the model. Generally speaking, marginal values in the results of optimisation enable an estimation of the impact of limitations and variables on the refinery margin value, i.e. provide a picture of the structure of economic values of all activities and limitations.

The Method of Work

Optimisation of production of additional product volumes for placing on other markets^{*} under conditions of meeting a fixed volume of products has been performed using an LP model of the Rijeka Oil Refinery. Fixed volume of products has been set randomly and has remained constant in all optimisation cases, presenting the basic limitation to optimisation based on which all additional production options have been considered. Optimisation conditions have been set so as to allow for both maximal and minimal effects of margin increase by producing for the free market:

1. Variant 1

Setting of optimisation conditions so as to enable additional production of all products, i.e. with open production possibilities of all product grades above the fixed demand levels. Results of optimisation have been conditioned by price structure and technological possibilities of the refinery. This variant constitutes optimisation with the highest amount of freedom within the limitations of producing fixed volumes of products, enabling within the set conditions the achievement of a maximal refinery margin level.

2. Variant 2

Optimizing the production of individual products for free export – the set limitations condition the production of individual products above fixed demand. The options of variant 2 present borderline cases of minimal optimisation freedom, whose optimisation yields results with minimal values of refinery margins.

Results of optimisation of described variants, in dependence of the set possibilities of exporting products to the free market, enables an estimation of the limits of the possible refinery margin increase, while respecting fixed volumes of product demand.

Input Data

1. Feed selection is limited by the choice of feeds presented in Table 1, while maximal share of oil with low sulphur content is limited up to 30 mas%.
2. The said capacity limitations of all processing units enable optimisation within the limits between minimal and maximal capacities, hence the total crude oil volume is also set by the limits of the minimal and maximal atmospheric distillation capacity.

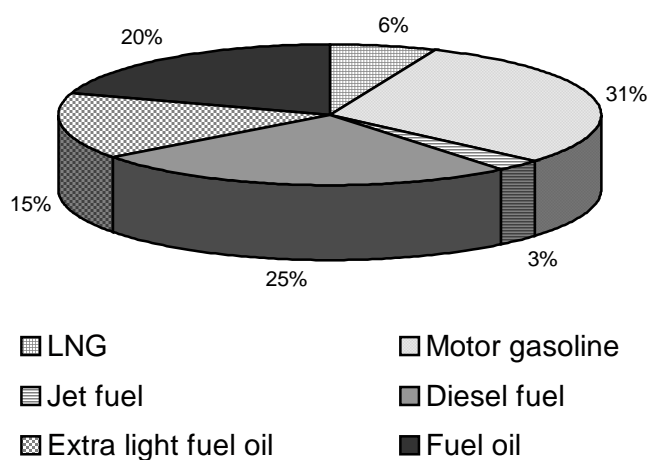
^{*}The terms "free market", "other markets", and the like, referring to product above the defined fixed demand values, do not physically mark the spot of their placement but refer to the said products' prices corresponding to the prices on the international oil products market. In the present paper, FOB Med prices have been applied for them. Fixed demand product prices have been defined given the market demanding them (domestic and/or fixed export market).

3. Optimisation has been performed for the average price structure in the period from January-May, 2001 i.e. all products and feeds have average prices for the said period. Prices of products from fixed demand match the price average for the markets for which they are destined, while product prices for the free market correspond to average prices of FOB Med for the same period.
4. Volume of fixed demand products. The structure of fixed product volume is shown in Figure 1.
Volumes and types of the fixed demand products have been set randomly based on average demand in the January-May, 2001 period.
5. The quality of products from fixed demand corresponds to the quality requirements of the market they are intended for, while the quality of additional products for the free market matches the quality requirements of European standards.

Table 1: API degrees and mass sulphur shares in selected feeds

Properties	Feeds	
	REB	Syrian Lt.
°API	32.7	37
Sulphur, mas%	1.49	0.73

Figure 1: The Structure of the set fixed product volume



Optimization Procedure - Variants

The optimisation procedure of additional products production above the fixed demand level has been performed according to the following options of the described variants 1 i 2:

1. Options of Variant 1

- 1A - optimisation of additional production of all products
- 1B - optimisation of additional production of all products, except the motor gasoline MB 98 (0.15 g/l of lead)

Optimisation of the first variant also includes the option of optimizing the production of all products, except for the motor gasoline MB 98 (0.15 g/l of lead). The reason for this are the results of optimising Variant 1A, according to which the ratio between production price and expenses in the product group of motor gasolines leads the process of optimisation towards economically more favourable production of motor gasoline MB 98 (0.15 g/l of lead), without the production of unleaded motor gasoline BMB 95. Since motor gasoline MB 98 is a product with a limited market demand, we have optimised also an additional option of variant 1 - option 1B.

2. Options of Variant 2

Optimisation of individual products production above the fixed demand volumes does not enable an optimal balancing of the flows, which is why variants 2 include options of additional production of other products also, but in minimal volumes, ensuring the balancing of flows:

- 2A - Optimising the production of unleaded motor gasoline BMB 95 and minimal additional production volumes of fuel oil fuel oil medium II, ensuring an optimal flow balancing.
- 2B - Optimising the production of diesel fuel and additional production of the following products in minimal volumes ensuring an optimal flow balancing:
 - 2Ba – fuel oil fuel oil medium II and unleaded motor gasoline BMB 95 (EN 228:1999)
 - 2Bb – fuel oil fuel oil medium II and FCC gasoline
- 2C - Optimising the production of fuel oil medium II and minimal additional production volumes of the following products:
 - 2Ca – unleaded motor gasoline BMB 95
 - 2Cb – FCC gasoline
 - 2Cc – base gasoline

Optimisation Results

By defining optimisation conditions through the options of variant 1, we have enabled optimisation of additional products production for the free market by choosing product type and volume. In other words, optimisation results of the

options of variant 1 present an optimal production of products which to the largest extent contribute to the increase of refinery margin under conditions of meeting fixed needs. Options of variant 1 present options of maximum refinery margin values under the set conditions of fixed needs and the price structure of products and feeds.

Defined optimisation conditions using options of variant 2 present a forced choice of individual products production for additional markets. Generally speaking, options of variant 2 present minimal effects of increasing refinery margin by additional production whose amount varies for different product choice options.

By setting the obtained limit values of minimal and maximal refinery margin values as a function of refinery margin value in dependence of the limitations of variant 1 i 2 options, it is possible to estimate the entire area of possibilities to advance refinery margin by producing for additional markets, as shown in Figure 2.

Options of variant 1 present maximal values of refinery margins for an optimised structure of prices and fixed product volumes, while margin values depend on the choice of additional production option – with or without the production of motor gasoline MB 98 (0.15 g/l of lead). For the set price structure, fixed product volume and other input limitations, it is not possible to achieve a higher refinery margin value using the additional production option. Other refinery margin values correspond to different production options of individual products for additional markets, with open production possibilities and minimal volumes of other products defined for each option, enabling optimal balancing of flows. Depending on the choice of individual product, optimisation of options of variant 2 results in minimal effects of increasing margin by producing for additional markets. For the given structure of prices and limitations of fixed demand volumes, variant 2Cc sets the minimal effect of refinery margin increase using the option of producing above the fixed demand volume. If the lowest value of the refinery margin is set as minimum, and that highest as maximum, then the entire area between the minimum and the maximum may be marked as "the area of a possible increase of the refinery margin using the option of producing additional product volumes" under the set conditions of optimisation and the structure of fixed product volume.

The area of refinery margin increase contains all the values of possible refinery margins that may be realized through the option of producing products for additional markets. Namely, all refinery margin values presented by columns from the second one onwards (Figure 2) may be increased only up to the refinery margin value presented by the first column. The way in which other refinery margin values may be increased is to set the optimisation conditions so as to enable the production of even more products for additional markets, all the way to the extreme enabling an optimal choice among all the products, which is the maximal refinery margin value.

By associating given product yields to each of the refinery margin values presented, it is possible to estimate the volume and type of the product for additional markets whose production above the fixed demand volumes makes it possible to achieve refinery margin values within "the area of a possible increase of the refinery margin

using the option of producing additional product volumes". Each refinery margin value shown in Figure 2 is the result of optimising the above options of variants 1 i 2, while it is realised by optimising the production of given product yields shown in Figure 3, where product shares for additional markets in total product volumes are marked bold.

Refinery margins obtained by optimising additional production variants of individual products may be increased up to the value of maximal refinery margin by setting optimisation conditions in such a way as to open the possibilities of producing also other products. Optimisation of variants 2 with additional production of also other products shall result in different product yields than those shown in Figure 3, with different shares of additional products. The resulting refinery margin shall be higher than the starting one and shall be within the marked "area of a possible increase of the refinery margin by using the option of producing additional product volumes". By a gradual limitation lowering to the choice of product type and volume for additional markets of the initial variants, we shall obtain results of optimisation with the following properties:

- the refinery margins achieved shall approach maximal refinery margin values,
- product yield shall become more and more similar, i.e. shall tend to achieve the one ensuring the maximal refinery margin.

The final consequence of expanding the freedom to choose additional products shall be the results of optimisation matching the product yield achieving maximal refinery margin. The way of changing product yield from the initial variants of producing individual products to the product yield of variants with the highest margins shall differ, but each resulting yield change referring to the optimisation of additional production of also other products shall have a corresponding refinery margin value within the marked "area of a possible increase of the refinery margin using the option of producing additional product volumes" which is higher than the value of refinery margin obtained through the optimisation of the initial option of additional production of the individual product.

Since Figure 3 shows product yields the production of which enables minimal and maximal effects of increasing refinery margin respectively, using the option of additional production above the fixed demand volumes, we have shown also product shares for additional markets, limit shares for the entire range of possible shares in the total yield of products the production of which achieves refinery margins within the marked "area of possible increase of the refinery margin using the option of producing additional product volumes". Each option of optimising production for additional markets shall enable the effect of margin increase if its share in total product yield is within the range matching refinery margin increase from minimal to maximal effects. Concretely, for an optimised system of prices, limitations of fixed demand and other characteristic limitations (choice of crudes, limitations of capacity and operating regime of the processing units, etc.), the possibilities of increasing refinery margin by producing for additional markets matches the production of the said products within share ranges in total product volume shown later.

Figure 3: Results of optimising all options of variants 1 i 2 - product structure

*product shares for additional markets in total product volume are marked bold

The share ranges of products in total product volume:

- 0 - 16 mas% of unleaded motor gasoline BMB 95 (13 mas%)
- 0 - 7 mas% of diesel fuel (1 mas%)
- 4 - 22 mas% of fuel oil fuel oil medium II (6 mas%)
- 0 -13 mas% of FCC gasoline (0 mas%)
- 0 - 4 mas% of naphta (0 mas%)
- + UNP (4 mas%)

Shown in brackets are product shares for additional markets in the total yield obtained through the optimisation of variant 1B, i.e. optimal choice of the volumes and types of products for additional markets. Production of extra light fuel oil and kerosene for additional markets within the given system of limitations and prices does not contribute to the increase of the refinery margin, while the production of motor gasoline MB 98 (0.15 g/l of lead) is the most cost effective, but its individual production has not been considered. A similar approach to the analysis of optimisation results may be applied in order to estimate the limits of capacity usability and individual crude share in total processing. Namely, for each optimised option of variants 1 i 2 we obtain results in which each refinery margin value with the pertaining product yield matches the presented capacity usability range (Figure 4). Each refinery margin value (Figure 2) has been achieved by optimising the options of variants 1 i 2, and corresponds to the production of the pertaining product yields (Figure 3), with the achieved capacity usability being shown in Figure 4.

All production variants for additional markets, whose optimisation yields values of refinery margins within the "area of a possible increase of the refinery margin using the option of production for additional markets", correspond to the values from 66 to 80% of the processing capacities usability. As Figure 4 shows capacity usability obtained through the optimisation of limit variants (minimal and maximal effects of increasing refinery margin using the option of additional production above the fixed demand), thus also the presented capacity usability matches the limit usability values, while the optimisation of options of additional production of other products resulting in any refinery margin value within the "area of a possible increase of the refinery margin using the option of production for additional markets" (Figure 2), shall result in capacity usability ranging from 66 to 80%. **Conclusive**

Considerations

The purpose of the present paper was to show the possibilities of applying LP model in solving the problems of meeting the fixed volume of products, which – in practice – may refer to demand on the local and/or contracted export market, while optimising additional production for placing on other markets. We have defined the fixed volume of products, constant in any case of optimisation, and set strict limitations to the volume of every product to be produced. The described method of operation enables the obtaining of optimisation results for two basic additional production scenarios:

Variant 1: unlimited production of additional product volumes for other markets.

Variant 2: production of additional product volumes for other markets limited by product type.

Results of optimisation defined by variants 1 and 2 enable the obtaining of optimisation results whose comparison points to the following conclusions:

- setting the fixed product volume limits the optimisation freedom degrees in all options of variants 1 and 2,
- optimisation of variant 1 present maximal effects and optimizing of variant 2 results with additional product production above defined market requirements,
- Options of variant 2 optimise the set production of individual products for additional markets with minimal optimisation freedom degrees under conditions of meeting fixed volumes.
- Optimisation of variant 1 obtains results with maximal effects, while optimisation of variants 2 yields those with minimal effects of increasing the margin using the option of producing above the fixed demand levels.
- Obtained values of refinery margins in variants 1 and 2 limit the area of a possible increase of the refinery margin through producing above the fixed demand levels.
- The area of a possible refinery margin increase constitutes the area in which values of refinery margins obtained through optimisation of also all other cases i.e. options of optimising the production of various combinations of products for additional markets.
- Optimisation using variants 1 and 2 enables the estimation of the processing capacity usability limits and optimizing selection of crude types and quantities while producing products for additional markets.

All the results of optimisation in the present paper are unique for a given case: structures of fixed demand, ratio between feed and product prices, and other limitations. However, the method of work and the procedure of analyzing results are applicable for all cases of considering the possibility of increasing the refinery margin by producing products for additional markets.

Literatura / References:

1. J.C.M. Hartmann, Interpreting LP Outputs, Hydrocarbon Processing 78, No.2 (1999)
2. J.C.M. Hartmann, Decision-making and modeling in petroleum refining, Hydrocarbon Processing 76, No.11 (1997)
3. F. Bernasconi, Method derives production costs of refined products, Oil&Gas Journal, Feb.9, 1987
4. J.C.M. Hartmann, Is your refinery model balanced?, Hydrocarbon Processing 78, No.11 (1999)
5. Refining Operations Planning and Linear Programming, ENSPM-Formation Industrie, Rueil-Malmaison, 2001
6. Financial management development, Management Accounting, URL: www.FinancialManagementDevelopment.com
7. G. Duxbory, INA`s Mediterranean markets, KBC Refinery Profitability Workshop, Zagreb, May 1999.

Ključne riječi / Key words:

65.012.122 linearno programiranje	linear programming
665.73/.75 prerada naftnih goriva	petroleum fuel processing
381/382.6 domaće i izvozno tržište	domestic and export market
380.113 fiksna i varijabilna potražnja	fixed and variable demand

Autori / Authors:

Ksenija Kaluđer Kamčev¹, Ljerka Bjelanović¹, Mladen Ištuk², Frano Martinis², Igor Šepić³, Adriana Petrović³

¹INA - Sektor strateškog razvoja, istraživanja i investicija, ²INA - Sektor za dobavu nafte i logistiku, ³INA - RN Rijeka

Primljeno / Received:

29.11.2002.